

MUISTIO No

CFD/TERMO-16-97

pvm 6 helmikuuta, 1997

OTSIKKO

Liukuvan hilan reunaehdon testaus - Krainin impelleri

LAATIJA(T)

Esa Salminen

TIIVISTELMÄ

FINFLOOn implementoitua liukuvan hilan reunaehto testataan laskemalla suurella nopeudella pyörivää kompressoria. Testitapaukseksi valitaan Krainin impellerin perusgeometria, jossa ei ole mallitettu siipien kärkirakoa eikä staattorin siipiä. Impelleristä on mallitettu vain yksi siipisola (15°), joka kuvaa 1/24 koko siipipyörästä. Sliding-pinta sijoitetaan roottorin siipien jättöreunan ja kuviteltujen staattorin siipien johtoreunan väliin jäävään kapeaan vyöhykkeeseen. Tämä kohta on reunaehdon päivittämisen kannalta vaikea, mutta vastaa käytännön tilannetta. Simulointi tehdään ajasta riippumattomana siten, että roottoria on käännetty staattoriin nähden 10° . Vertailuajo tehdään käyttäen tavallista lohkoliimausreunaehto ja siten, että roottori ja staattori ovat kohdakkain. Uutta reunaehto testataan samassa tilanteessa myös modifioituna siten, että kaikki suureet kehän suuntaisilla koppiriveillä lasketaan keskiarvoina kaikkien kyseisen koppirivin koppien arvoista.

PÄÄKOHDAT

Virtauskenttä on kohtuullisen hyvin jatkuva rajapinnan yli.

SIVUJA

8

AVAINSANAT

CFD, sliding mesh, rotating machinery

TARKASTANUT

Timo Siikonen

Helmikuu 6, 1997

Sisältö

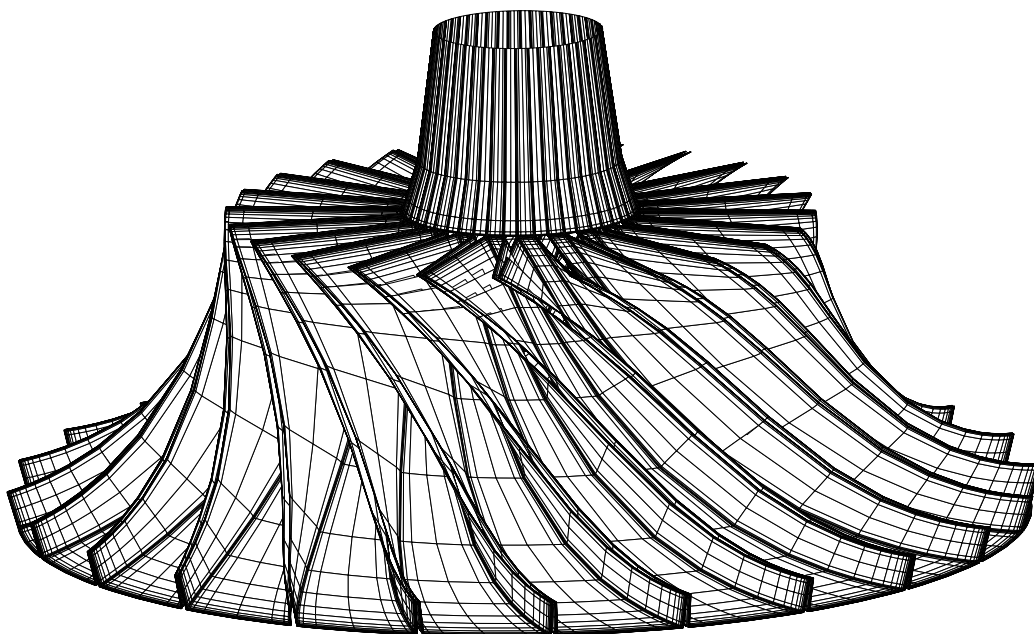
1	Johdanto	1
2	Testi	1
3	Yhteenveto	8

1 Johdanto

FINFLO-virtausratkaisijaan [1] on implementoitu liukuvan hilan reunaehto [2]. Implementoinnin yhteydessä uutta reunaehtoä testattiin ainoastaan kokoonpuristumattomassa pumppuvirtauksessa. Myöhemmin reunaehtoä testattiin myös kokoonpuristuvassa virtauksessa [3], mutta tällöin testitapaukseksi valittiin uuden reunaehdon käyttötarkoituksen kannalta hieman epärealistinen ylisooninen virtaus sylinterin ohi. Tässä muistiossa kuvataan testi, jossa uutta reunaehtoä sovelletaan suurella nopeudella pyörivän impellerin (roottori) ja staattorin välisen liitoksen mallintamiseen. Tämä testitapaus edustaa simulointitehtävää, jossa uutta reunaehtoä tyypillisesti tullaan käyttämään. Uudesta reunaehdosta laaditaan myös modifioitu versio, jossa kaikki rajapinnan suureet kehän suuntaisilla koppiriveillä lasketaan keskiarvoina kaikkien kyseisen koppirivin kopiiden arvoista. Tätä reunaehtotyyppiä voidaan käyttää roottori-staattori-geometrian kvasistaattisessa käsittelyssä.

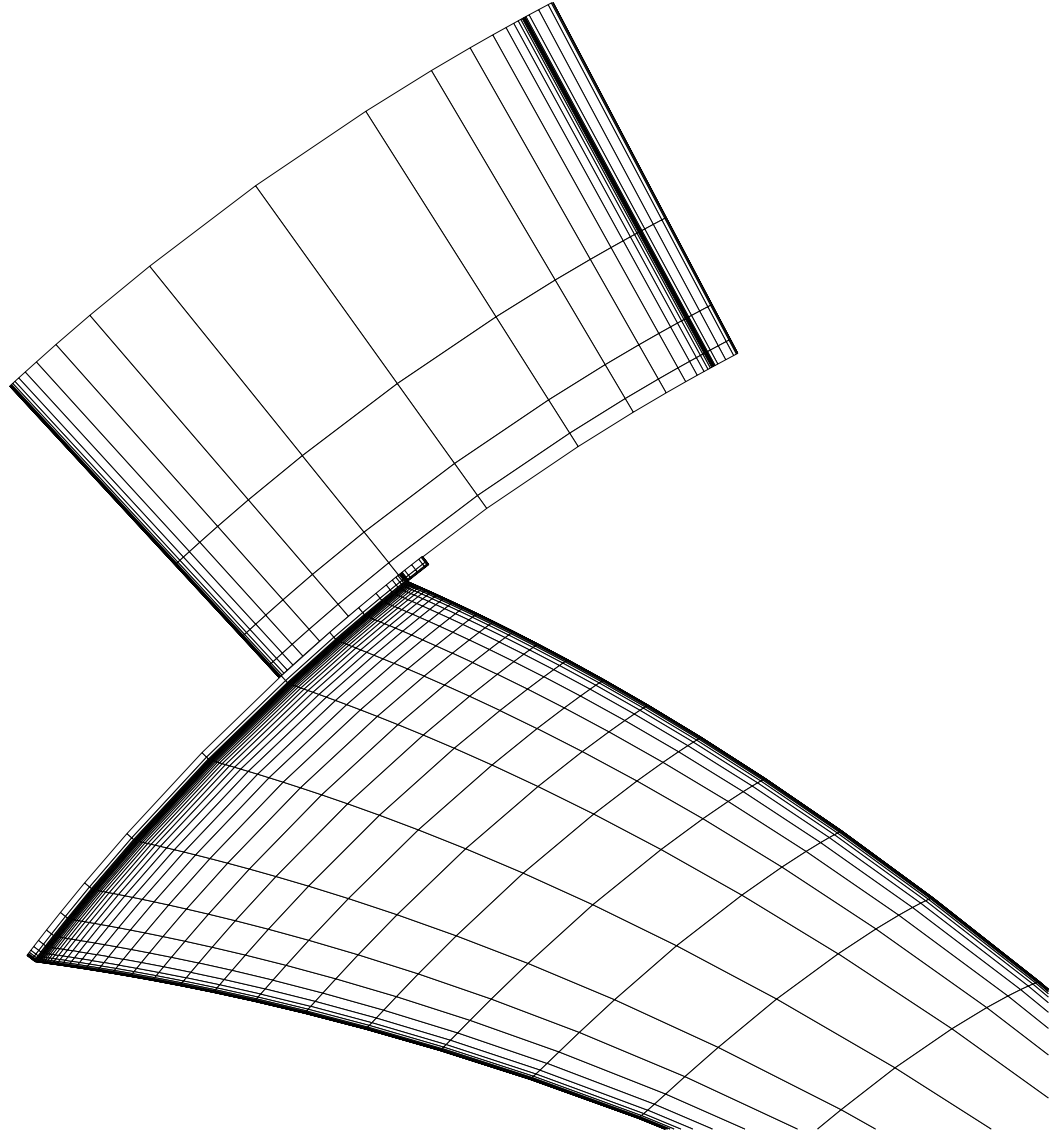
2 Testi

Krainin impellerin perushilan pintahila kolmanneksi tiheimmällä hilatasolla esitetään kuvassa 1. Simuloinnit tehdään toiseksi tiheimmällä hilatasolla. Simuloinneissa tarkastellaan vain yhtä impellerin kanavaa. Laskettava alue jaetaan neljään lohkoksi; 1) siipien johtoreunan yläpuolinen alue, 2) siipisola, 3) siipien jättöreunan ja sliding-pinnan välinen alue ja 4) sliding-pinnan jälkeinen alue. Näiden neljän lohkon lisäksi tarvitaan kaksi erikoislohkoa reunaehtojen pakottamiseksi impellerin sisäänmeno- ja ulospuhallusreunoilla. Massavirran nimellisarvo laskettavassa tapauksessa on 1,6667 kg/s. Impellerin pyörimisnopeus on 22363 r/min (kehänopeus 468,37 m/s). Turbulenssimallina simuloinneissa käytetään algebrallista Baldwin-Lomax-mallia. Konvergenssin kiihdyttämiseksi käytetään kahta monihilatasoa. Simuloinneissa Courantin luku on 0,4. Konvergoituneen tuloksen saamiseksi joudutaan kumpaakin tapausta laskemaan 22000 iteraatiokierrosta.



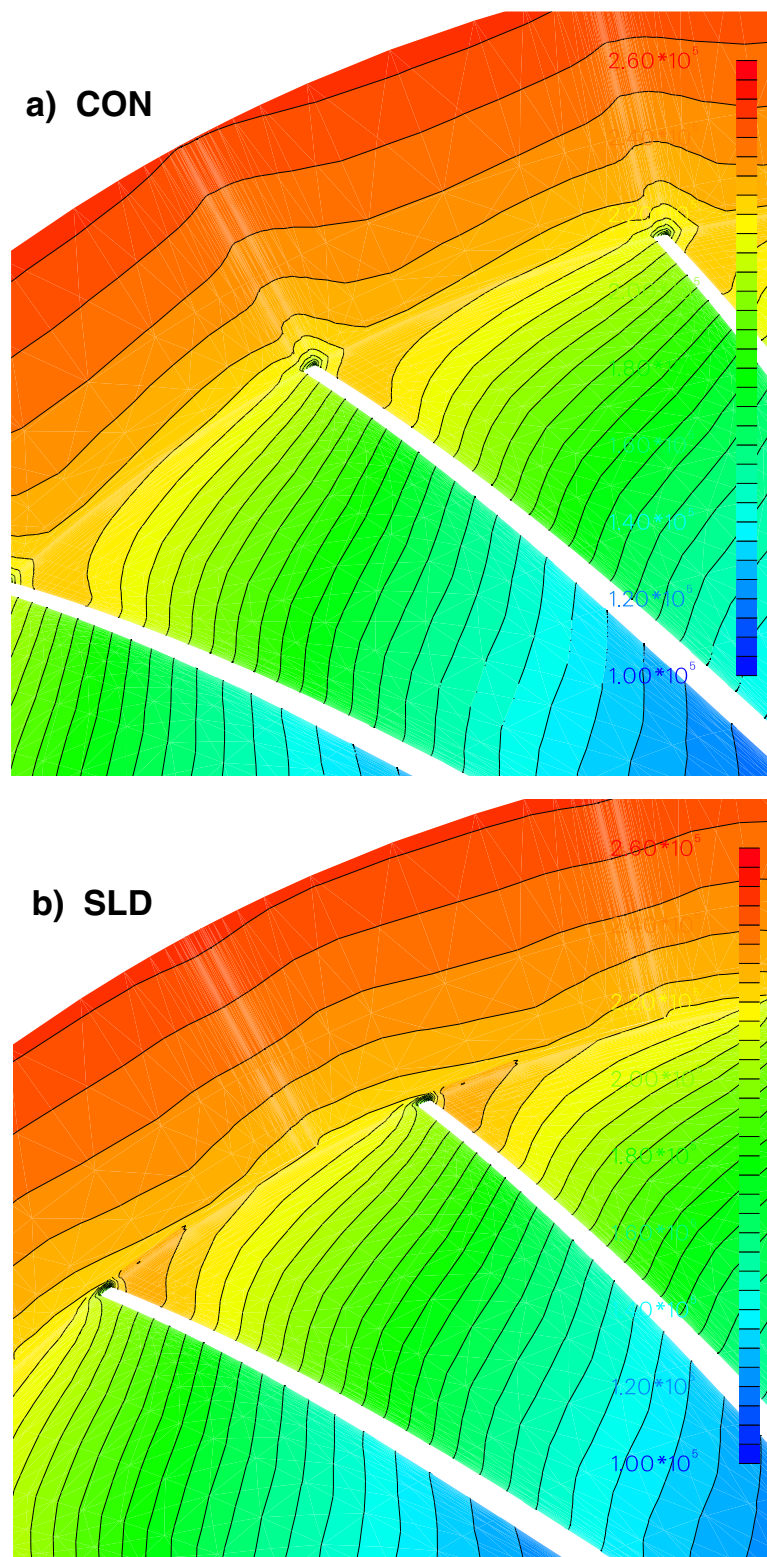
Kuva 1: Krainin impellerin pintahila kolmanneksi tiheimmällä hilatasolla.

Kuvassa 2 esitetään yksi virtauskanavan hilataso tilanteessa, jossa roottoria on käännetty 10° . Kuvasta nähdään kuinka roottorin kääntymisen seurauksena hilajako likuvan pinnan yli tulee hyvin epäjatkuva. Kohdissa, joissa roottorissa on hyvin tiheä hila, hila staattorissa on harva ja päinvastoin.

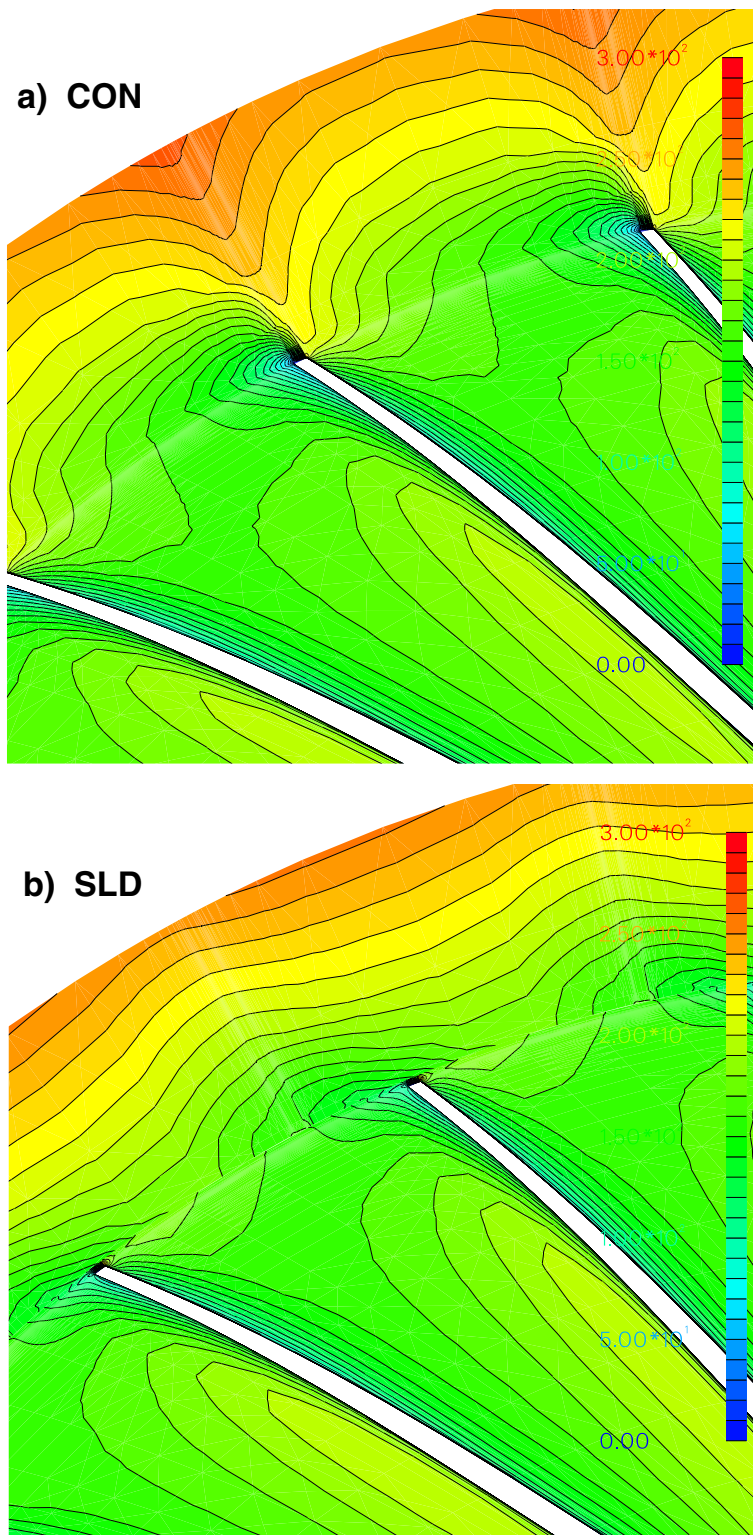


Kuva 2: Yksi hilataso tilanteessa, jossa roottoria on käännetty 10° (2. tihein hila).

Kuvassa 3 esitetään staattisen paineen jakautuma siipisolassa laskettuna sekä lohkoliimausreunaeh-toa (roottori ja staattori kohdakkain) että liukuvan hilan reunaeh-toa käyttäen. Jälkimmäisessä tapauksessa roottoria on käännetty 10° , mistä johtuen hila rajapinnan kohdalla on epäjatkuva (ks. kuva 2). Tästä hilan epäjatkuvuudesta ja suurista hilatiheys eroista huolimatta painejakautuma pinnan yli on kohtuullisen hyvin jatkuva. Painejakautuma on myös kvalitatiivisesti samanlainen kuin lohkoliimausreunaeh-toa käyttäen saatu jakautuma. Vastaavat nopeusjakautumat esitetään kuvassa 4. Nopeusjakautumissa erot ovat selvemmin nähtävissä. Roottorin kääntäminen aiheuttaa sen että siiven jättöreunan taakse osuu staattorista kohta, jossa hila on hyvin harva. Tämä harva hila ei kykene kuvaamaan siiven taakse syntyviä häiriöitä.

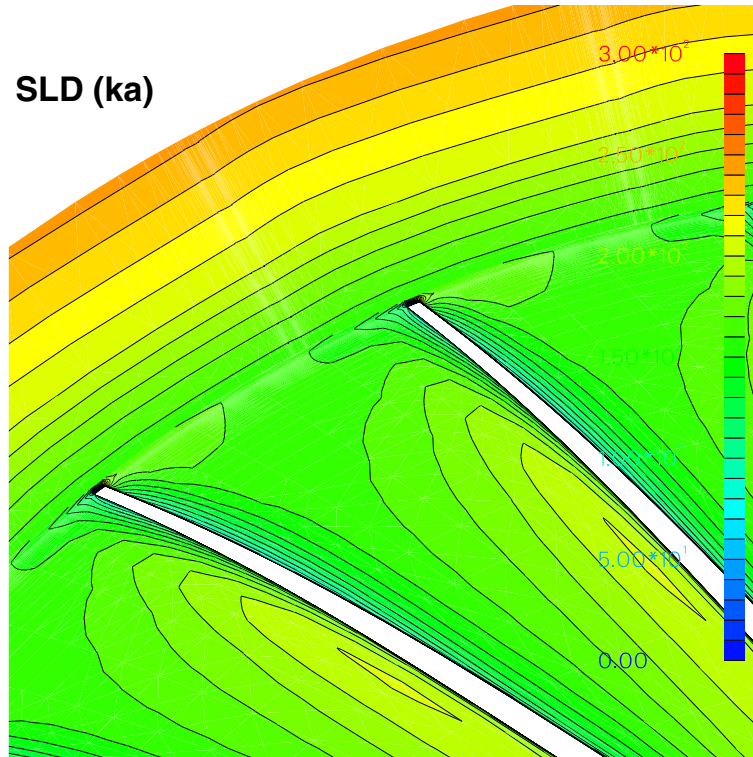


Kuva 3: Staattisen paineen jakautuma roottorin ja staattorin välisen rajapinnan läheisyydessä. a) Tavallista lohkoliimausreunaehtoa käyttäen saatu jakautuma ja b) liukuvan hilan reunaehtoa käyttäen saatu jakautuma. Tapauksessa a) roottori ja staattori ovat kohdakkain ja tapauksessa b) roottoria on käännetty 10° (ks. kuva 2).



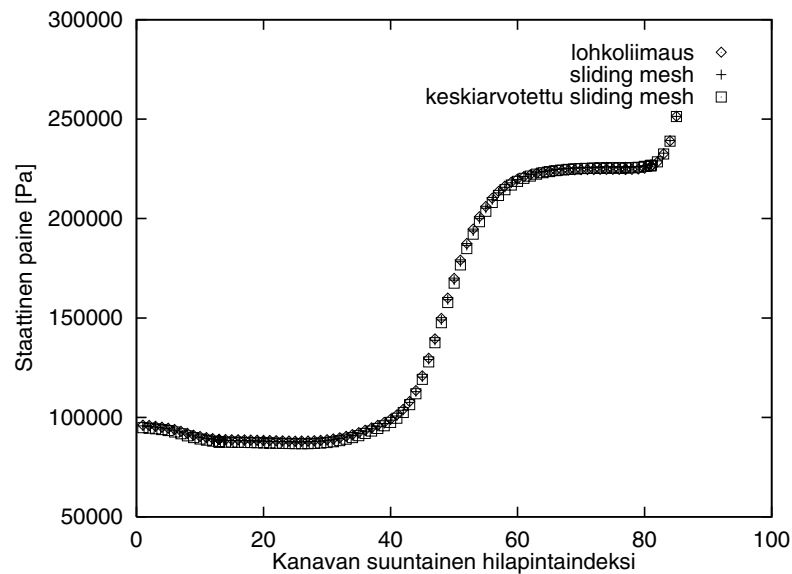
Kuva 4: Nopeusjakautuma roottorin ja staattorin välisen rajapinnan läheisyydessä roottorin mukana pyörivässä koordinaatistossa. a) Tavallista lohkoliimausreunaehtoa käyttäen saatu jakautuma ja b) liukuvan hilan reunaeh-
toa käyttäen saatu jakautuma. Tapauksessa a) roottori ja staattori ovat kohdakkain ja tapauksessa b) roottoria on
käännetty 10° (ks. kuva 2).

Kuvassa 5 esitetään nopeusjakautuma laskettuna modifioitua liukuvan hilan reunaehtoa käyttäen. Modifioidussa reunaehdossa kaikki suureet kehän suuntaisilla kopperiveillä lasketaan keskiarvoina kaikkien kyseisen kopperivin koppien arvoista. Tämä simulointi tehtiin jatkaen alkuperäisellä reunaehdolla saadusta tuloksesta noin 2000 iteraation verran.



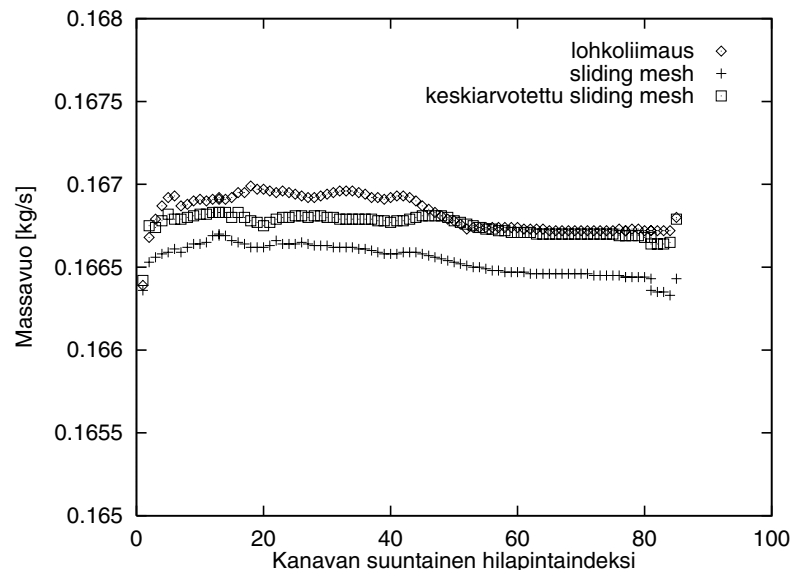
Kuva 5: Nopeusjakautuma roottorin ja staattorin välisen rajapinnan läheisyydessä roottorin mukana pyörivässä koordinaatistossa. Jakautuma on laskettu liukuvan hilan reunaehtoa käyttäen siten että kullakin kehän suuntaisella kopperivillä rajapinnalla suureet on keskiarvotettu.

Kuvassa 6 esitetään staattisen paineen nousu virtaussuuntaan kanavan läpi kuljettaessa. Paine on laskettu keskiarvona integroimalla yli poikittaisten hilapintojen.



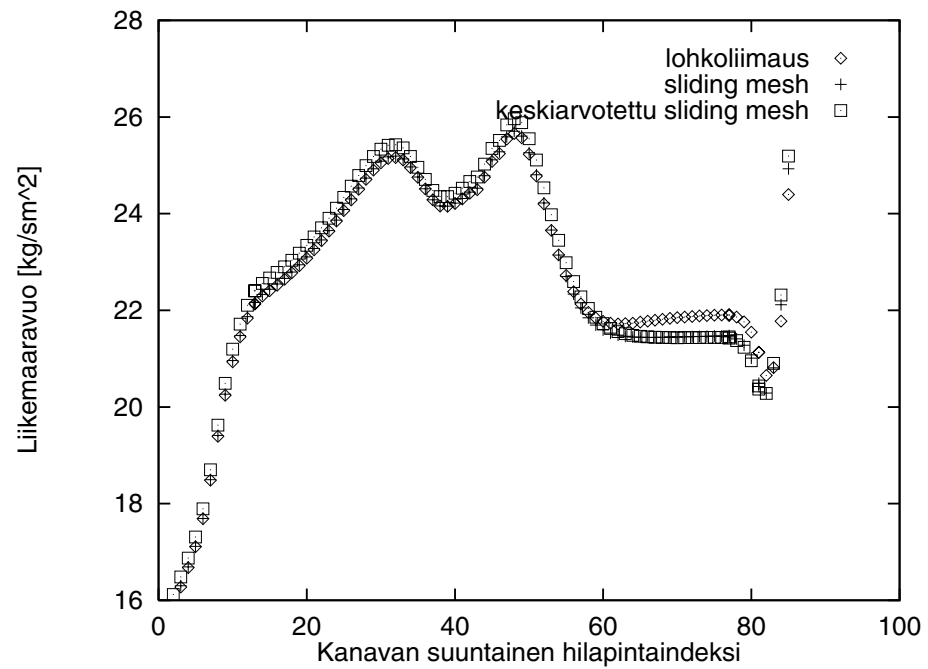
Kuva 6: Staattisen paineen nousu impellerin kanavassa.

Kuvassa 7 esitetään massavuo virtaussuuntaan kanavan läpi kuljettaessa. Massavuossa nähdään pieni epäjatkuvuus liukuvan pinnan kohdalla (viides symboli lopusta). Absoluuttisesti hyppäys on kuitenkin merkityksetön. Tarkasteluhetkellä tavallista lohkoliimausta käyttäen saatu massavuo on kaikkialla kanavassa hieman suurempi kuin liukuvan hilan reunaehtoä käyttäen saatu vuo. Tilanne riippuu kuitenkin täysin tarkasteluhetkestä, sillä massavuon keskimääräinen arvo heilahtelee iteroinnin kuluessa.

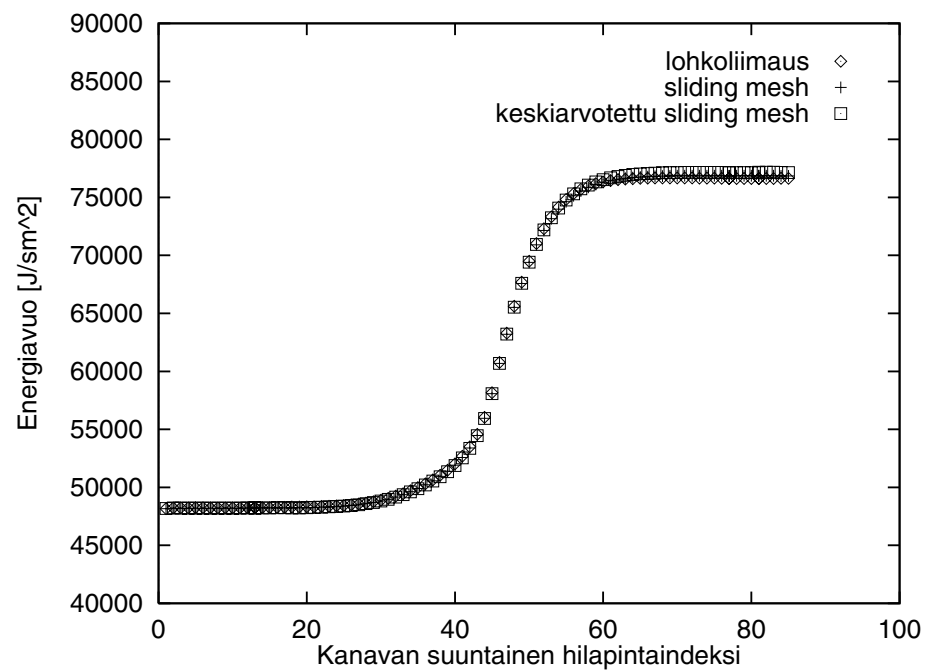


Kuva 7: Massavuo impellerin kanavassa.

Kuvassa 8 esitetään liikemäärävuon ja kuvassa 9 energiavuon kanavan läpi kuljettaessa. Liukuvan hilan reunaehdot käytettäessä liikemäärävuon kanavan loppuosalla on jonkin verran pienempi kuin lohko-liimausreunaehdot käytettäessä. Vuon on kuitenkin jatkuva sliding-pinnan yli.



Kuva 8: Liikemäärävuon impellerin kanavassa.



Kuva 9: Energiavuon impellerin kanavassa.

3 Yhteenveto

FINFLOon implementoitua liukuvan hilan reunaehdotusta testattiin suurella nopeudella (22363 r/min, kehänopeus 468,37 m/s) pyörivän roottorin ja staattorin välisessä liitoksessa. Testitapauksena käytettiin yksinkertaistettua Krainin impelleriä. Simulointimallissa ei kuvattu siipien reunojen yli tapahtuvaa vuotoa eikä staattorin siipiä. Liukuva hilapinta sijoitettiin kuitenkin roottorin siipien ja kuvitteltujen staattorin siipien väliseen kapeaan vyöhykkeeseen. Simulointi tehtiin ajasta riippumattomana siten, että roottoria oli pyöritetty staattoriin nähden 10° . Siipien pinnoille tehdyistä hilatihennyksistä johtuen tihentymä roottorin hilassa osui tällöin staattorin hilassa kohtaan, jossa hila oli harva ja päinvastoin. Tästä huolimatta virtauskenttä rajapinnan yli on kohtuullisen jatkuva ja samoin massavirta säilyy. Liukuvan hilan reunaehdotusta käyttäen saatuja tuloksia verrattiin tavallista lohkoliimausta käyttäen saatuihin tuloksiin. Vertailuajossa roottori ja staattori olivat kohdakkain. Tulokset ovat hyvällä tarkkuudella samat. Simuloinnit tehtiin toiseksi tiheimmällä hilatasolla. Hilan tihentäminen parantaa liukuvan hilan reunaehdossa tarvittavan interpoloinnin tarkkuutta, joten tiheimmällä hilatasolla tulosten voisi odottaa olevan vieläkin lähempänä toisiaan.

Uutta reunaehdotusta testattiin samassa tilanteessa myös modifioituna siten, että kaikki suureet kehän suuntaisilla kopperiveillä laskettiin keskiarvoina kaikkien kyseisen kopperivin koppien arvoista. Tämä menettely saattaa antaa parempia tuloksia ajasta riippuvissa tapauksissa, joita ratkotaan kvasistaattisella lähestymistavalla. Keskiarvotuksen toimivuutta on testattava tässä tehtyä kokeilua tarkemmin ennenkuin se otetaan laajempaan käyttöön.

Viitteet

- [1] FINFLO User Guide, Version 2.2. Helsinki University of Technology, Laboratory of Applied Thermodynamics, Espoo 1996.
- [2] *Esa Salminen*, Liukuvan hilan reunaehdon implementointi FINFLOon. Teknillinen korkeakoulu, Sovelletun termodynamiikan laboratorio, CFD-ryhmä. Muistio n:o 11-96, Otaniemi 1996.
- [3] *Esa Salminen*, Liukuvan hilan reunaehdon testaus. Teknillinen korkeakoulu, Sovelletun termodynamiikan laboratorio, CFD-ryhmä. Muistio n:o 13-96, Otaniemi 1996.